

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-043695
 (43)Date of publication of application : 08.02.2002

(51)Int.CI. H01S 5/343
 H01L 33/00

(21)Application number : 2000-224783

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 26.07.2000

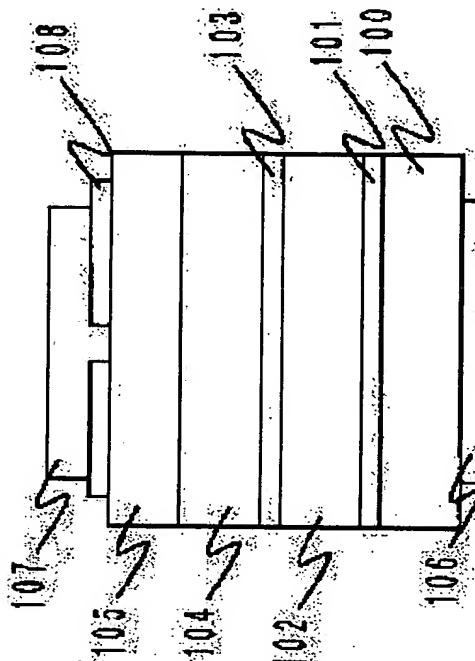
(72)Inventor : KAMIKAWA TAKESHI
 ITO SHIGETOSHI

(54) LIGHT EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To solve such a problem that a conventional nitride-based light emitting element has an insufficient service life because an Al included in its active layer applies a large stress to an active layer and the stress produces cracking.

SOLUTION: This light emitting element is provided with an n-Al_{1-x}Ga_xN ($0.05 < x_1 < 0.3$) clad layer (film thickness of $d_1 \mu\text{m}$), an active layer, and a p-Al_{1-x}Ga_xN ($0.05 < x_2 < 0.3$) clad layer (film thickness of $d_2 \mu\text{m}$). The film thickness and Ga composition thereof are set to a range of $2 < (x_1 \times d_1)/(x_2 \times d_2) \geq 10$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.07.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J·P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-43695

(P2002-43695A)

(43)公開日 平成14年2月8日(2002.2.8)

(51) Int.Cl.
H 01 S 5/343
H 01 L 33/00

識別記号

F I
H 01 S 5/343
H 01 L 33/00

テーマコード(参考)
5 F 0 4 1
C 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数2 OL (全7頁)

(21)出願番号 特願2000-224783(P2000-224783)

(22)出願日 平成12年7月26日(2000.7.26)

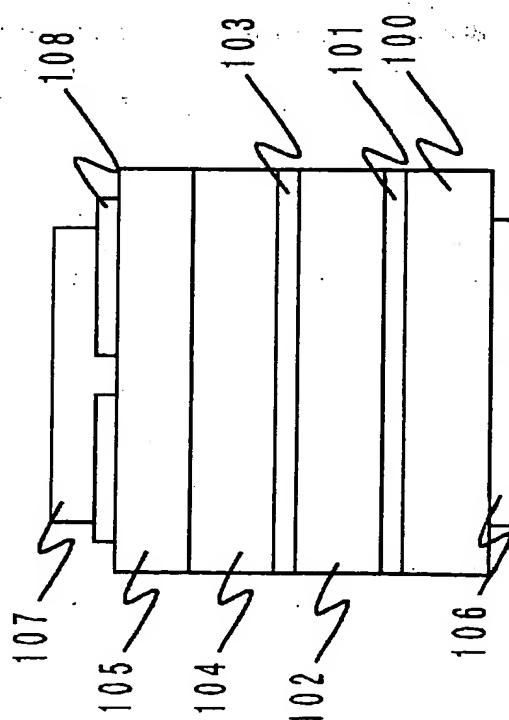
(71)出願人 000005049
シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(72)発明者 神川 剛
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内
(72)発明者 伊藤 茂穂
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内
(74)代理人 100102277
弁理士 佐々木 晴康 (外2名)
Fターム(参考) 5F041 AA44 CA04 CA34 CA40 CA46
5F073 AA03 AA74 CA07 CB02 CB07
DA05 DA35 EA28

(54)【発明の名称】発光素子

(57)【要約】

【課題】窒化物系発光素子において、クラッド層に含まれるAlによって、活性層に大きな歪みがかかる、また、歪みによって発生するクラックによって、十分な寿命を持つ素子を得ることができなかった。

【解決手段】基板上にn-Al_{1-x}G_xN (0.05 < x < 0.3) クラッド層(膜厚d₁ μm)と、活性層と、p-Al_{1-x}G_xN (0.05 < x < 0.3) クラッド層(膜厚d₂ μm)とを備えた発光素子で、膜厚とGaN組成を2 < (x₁ × d₁) / (x₂ × d₂) ≤ 10の範囲に設定する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体からなる基板と、基板上に順次形成された $A_11-x_1G_a x_1N$ ($0.05 < x_1 < 0.3$) からなる第1クラッド層(膜厚 $d 1 \mu m$)と、活性層と、 $A_11-x_2G_a x_2N$ ($0.05 < x_2 < 0.3$) からなる第2クラッド層(膜厚 $d 2 \mu m$)とを備えた発光素子であって、該第1クラッド層および該第2クラッド層の膜厚が、
 $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$
の範囲に設定されることを特徴とする発光素子。

【請求項2】 前記第2クラッド層の膜厚が、
 $0.2 \leq d_2 \leq 0.4$
の範囲に設定されることを特徴とする請求項1に記載の発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は窒化物半導体を用いた発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 GaN、InN、AlNおよびそれらの混晶半導体に代表される窒化物系半導体材料により、青色から紫外領域で発光する半導体レーザ素子が試作されている。図5は、ジャパニーズ=ジャーナル=オブ=アプライド=フィジックス38号L184~L186ページ(Masaru KURAMOTO et al., Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38 (1999) pp. L184-L186)に報告された、波長405nmで発振する窒化物半導体レーザ装置を示す図である。本半導体レーザ素子は、n-GaN基板200(膜厚100μm)上に、n-Al0.07Ga0.93N下部クラッド層201(膜厚1μm)、n-GaN下部ガイド層202(膜厚0.1μm)、In0.2Ga0.8N(膜厚3nm)/In0.05Ga0.95N(膜厚5nm)-3重量量子井戸活性層203、p-Al0.19Ga0.81Nキャップ層204(膜厚20nm)、p-GaN上部ガイド層205(膜厚0.1μm)、p-Al0.07Ga0.93N上部クラッド層206(膜厚0.5μm)、p-GaNコンタクト層208(膜厚0.05μm)が順次積層形成されており、また、p-GaNコンタクト層208の上にはp電極209、n-GaN基板200の下にはn電極210が形成されている。また、電流狭窄を行うためのSiO₂膜207がp-Al0.07Ga0.93N上部クラッド層206上に形成されている。さらに、紙面と平行な面にミラー端面211が劈開法により形成されている。本レーザ素子では、活性層およびガイド層がクラッド層に挟まれた導波構造を有しており、活性層で発光した光は、この導波構造内に閉じ込められ、また、ミラー端面がレーザ共振器ミラーとして機能し、レーザ発振動作を生じる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来用いられてきた構造でレーザ素子を作製したところ、APC駆動(光出力を一定にするように駆動電流(Iop)を変化させる)5mW(光出力)、50°Cで駆動させたときの素子の寿命が数時間程度と短く問題であった。ここで、寿命とは、APC駆動で光出力5mW、20°Cで、そのときのIopが寿命試験を開始した時点のIopに対して20%上昇するまでの時間とする。また、ここで示した5mW、APC駆動の寿命を低出力時の寿命、30mW、APC駆動、20°Cの寿命を高出力時の寿命とする。通常、実用化および商品化には、30mW、1000時間の寿命が必要である。

【0004】

【課題を解決するための手段】本願の発光素子は、窒化物半導体からなる基板と、基板上に順次形成された $A_11-x_1G_a x_1N$ ($0.05 < x_1 < 0.3$) からなる第1クラッド層(膜厚 $d 1 \mu m$)と、活性層と、 $A_11-x_2G_a x_2N$ ($0.05 < x_2 < 0.3$) からなる第2クラッド層(膜厚 $d 2 \mu m$)とを備えた発光素子であって、該第1クラッド層および該第2クラッド層の膜厚が、
 $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$
の範囲に設定されることを特徴とする。

【0005】さらに、前記第2クラッド層の膜厚が、
 $0.2 \leq d_2 \leq 0.4$
の範囲に設定されることを特徴とする。

【0006】なお、本明細書において窒化物半導体とは、窒素(N)がV族元素の主体となるIII-V族化合物半導体のことを表わしており、 $XN_{1-s-t}A_ssPt$ ($0 \leq s, 0 \leq t < 0.5, 0 \leq s+t < 0.5, X: Al, Ga, In, Tl$ のすくなくともいずれか1つ)で表わされる化合物半導体を含む。また、本明細書において、 $A_11-x_1G_a x_1N$ ($0 < x_1 < 1$) もしくは $A_11-x_2G_a x_2N$ ($0 < x_2 < 1$) とは、本願の効果に影響のない少量(原子数の3%以下の範囲)の別の元素が添加される場合も含む。

【0007】

【発明の実施の形態】一般に、窒化物半導体の結晶成長を行う方法としては、有機金属気相成長法(以下MOCVD法)、分子線エピタキシー法(MBE法)、ハイドライド気相成長法(HVPE法)、で行うのが通例であり、どの結晶成長法を用いてもよい。以下に、基板としてGaN基板を用い、成長法としてMOCVD法を用いて製造した窒化物半導体レーザおよび窒化物半導体発光ダイオードの例について記述する。基板としては、窒化物半導体で構成されている基板であれば良く、 $A_1xG_a yI_nzN_{1-x-y-z}$ 基板であっても良い。特に、窒化物半導体レーザの場合、垂直横モードの単峰化のために、クラッド層よりも屈折率の低い層が該クラッド層の外側に接している必要があり、AlGaN基板を用いるのが最良である。

【0008】また、本発明において、 $n-AIGaN$ クラッド層、 $p-AIGaN$ クラッド層の層厚をおのおの d_1 、 d_2 、 AIG 混晶比をおのおの y_1 、 y_2 として示した。ここで、各クラッド層が多層構造（超格子構造）であった場合の d_1 、 d_2 、 y_1 、 y_2 の算出方法を述べる。たとえば図3に示すような多層構造のクラッド層を考えてみる。図3において、401は $n-GaN$ コンタクト層であり、402から407までは、402が $n-AIGa_{0.9}N$ 、403が $n-GaN$ 、404が $n-AIGa_{0.9}N$ と交互に積層された多層構造の n 型

$$y = (y_1 \times d_1 + y_2 \times d_2 + \dots)$$

で示される。

【0010】請求項で示した p 、 n 各クラッド層の混晶比 x_1 、 x_2 は、クラッド層が多層構造である場合、

(1) 式で示した平均混晶比 y となる。

（実施の形態1）本実施の形態1では、窒化物半導体発光ダイオード素子の形成方法について説明する。図1Aは、窒化物半導体発光ダイオード構造を示しており、C面（0001面）の n 型 GaN 基板100、 n 型 GaN バッファ層101、 n 型 $AIGa_{1-x}N$ クラッド層102、活性層103、 p 型 $AIGa_{1-x}N$ クラッド層104、 p 型 GaN コンタクト層105、 n 型電極106、 p 型電極107、 SiO_2 108から構成されている。以下に図1の窒化物半導体発光ダイオードの製造方法について説明する。

【0011】まず、HYPE法で種基板（例えば、サファイア基板）上に厚膜の GaN を積層し、その後、研磨でサファイア基板を剥き取り、厚さ $4.00\mu m$ 、大きさ2インチのC面（0001）の n 型 GaN 基板100を作製した。該 n 型 GaN 基板の n 型極性は、 Si をドーピングすることによって得られ、該 Si の濃度は、 $2 \times 10^{18} cm^{-3}$ であった。さらに、前記 n 型 GaN 基板中に約 $8 \times 10^{16} cm^{-3}$ の塩素（Cl）をドーピングしている。次に、MOCVD装置に、前記 n 型 GaN 基板100をセットし、 $1050^{\circ}C$ の成長温度で n 型 GaN バッファ層101を $1\mu m$ 形成した。この n 型 GaN バッファ層は、種基板から n 型 GaN 基板を剥き取るとときに生じた n 型 GaN 基板の表面歪みの緩和、表面モフォロジや表面凹凸の改善（平坦化）を目的に設けた層であり、無くとも構わない。 n 型 GaN バッファ層101を形成後、続けて $1.0\mu m$ 厚の n 型 $AIGa_{1-x}N$ 層102を形成した。このとき $x=0.1$ であった。

【0012】次に、基板の温度を $700^{\circ}C$ ~ $800^{\circ}C$ 程度に下げ、厚さ $2nm$ の $InGaN$ 井戸層と厚さ $4nm$ の $InGaN$ 障壁層を3周期積層した活性層（多重量子井戸層）103を成長する。その際、 SiH_4 は供給してもよいし、供給しなくてもよい。なお、 SiH_4 は、 n 型 $AIGa_{1-x}N$ 層102を形成する工程までは供給しつづけていた。

【0013】次に、基板温度を再び $1050^{\circ}C$ まで昇温

クラッド層になっている。408は $n-GaN$ ガイド層である。この場合、 d_1 がクラッド層の厚さとする。各層の厚さがそれぞれ異なった場合であっても、 $d_1=d_2+d_3+d_4+\dots+d_7$ で計算される。ここでは、例として n 型クラッド層を出したが、 p 型クラッド層に関しても同様である。膜厚の測定はTEM（透過型電子顕微鏡）等の手段を用いる。

【0009】更に、クラッド層が多層構造である場合の平均混晶比は加重平均で以下のように求める。図3に示すように多層構造であった場合、平均混晶比 y は、

$$y = (y_1 \times d_1 + y_2 \times d_2 + \dots) / (d_1 + d_2 + \dots) \quad (1)$$

して、 $0.4\mu m$ 厚みの p 型 $AIGa_{1-x}N$ 層104を成長する。このとき $x=0.1$ であった。その後、 $0.1\mu m$ の厚みの p 型 GaN コンタクト層105を成長した。本実施の形態の活性層103は、3周期からなる多重量子井戸構造を作製したが、その他の周期構造でも良く、井戸層のみの単一量子井戸構造でも良い。活性層は $In_xGa_{1-x}N$ から構成されていれば良く、所望の発光波長に応じて In 組成、もしくは井戸層厚を変化させればよい。

【0014】通常、活性層が多重量子井戸から構成され、発光波長が $370nm$ 以上の場合は、井戸層は $InGaN$ から構成されていて、障壁層は少なくとも GaN もしくは Al を含む窒化物半導体でなければならなく、少なくとも井戸層もしくは障壁層の何れかに極性を有する不純物がドープされていなければならない。上記活性層中の井戸層または障壁層の、極性を有する不純物は、 Si 、 Ge 、 O 、 C 、 Zn 、 Ble 、 Mg の何れかが好ましい。

【0015】 p 型 GaN コンタクト層105の p 型不純物濃度は、 p 型電極107の形成位置に向かって、 p 型不純物濃度を多くした方が好ましい。

【0016】このことにより p 型電極形成によるコンタクト抵抗を低減する。また、 p 型化不純物である Mg の活性化を妨げている p 層中の残留水素を除去するためには、 p 型層成長中に微量の酸素を混入させてよい。さらに、 p 型 GaN コンタクト層105の層厚は $0.1\mu m$ より厚くても素子の寿命に関しては影響を与えないが、 p 型コンタクト層が $0.1\mu m$ より厚くなると、 p コンタクト層に光が漏れ放射パターンにリップルが生じ乱れる。このため、 p 型コンタクト層の厚さは $0.1\mu m$ 以下がよい。この様にして、 p 型 GaN コンタクト層105を成長後、MOCVD装置のリアクター内を全窒素キャリアガスと NH_3 に変えて、 $60^{\circ}C$ /分で温度を降下させた。基板温度が $850^{\circ}C$ に達した時点で、 NH_3 の供給を停止して、5分間、前記基板温度で待機してから、室温まで降下させた。上記基板の保持温度は $650^{\circ}C$ から $900^{\circ}C$ の間が好ましく、待機時間は、3分以上15分以下が好ましかった。また、降下温度の到達速度は、 $30^{\circ}C$ /分以上が好ましい。このようにして作製

された成長膜をラマン測定によって評価した結果、従来、利用されているp型化アニールを行わなくとも、成長後すでにp型化の特性を示していた。また、p型電極形成によるコンタクト抵抗も低減していた。S I M S (second ion mass spector) 測定を行った結果、残留水素濃度がp型GaNコンタクト層105最表面近傍で $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であった。発明者らによる実験によると、成長膜を形成後、NH₃雰囲気中で基板温度を室温まで降下させたとき、残留水素濃度が成長膜最表面近傍で高がったことから、成長膜最表面近傍の残留水素濃度は、成長終了後のNH₃雰囲気が原因であると考えられる。この残留水素は、p型化不純物であるMgの活性化を妨げることが知られている。前記残留水素濃度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下が好ましい。

【0017】この様にp型GaNコンタクト層105成長後に、キャリアガスをN₂で置換し、NH₃の供給を停止して所定の時間、成長温度を保持することによって、p型化を促し、成長膜最表面近傍の残留水素濃度を下げ、コンタクト抵抗を低減できた。また、p型電極形成によるコンタクト抵抗をさらに低減する方法として、成長膜最表面（p型層の最表面）近傍をエッティングにより除去し、その除去面にp型電極を形成すると良い。成長膜最表面（p型層の最表面）を除去する層厚は、1.0 nm以上が好ましく、特に上限値はないが、除去面近傍の残留水素濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下になることが好ましい。

【0018】次に、p型GaNコンタクト層105上にSiO₂108を蒸着する。その後、フォトリソとエッチングによりSiO₂を3 μm幅のストライプで除去する。次に図1のように、p型GaNコンタクト層105とSiO₂108上に、Pd(1.0 nm)/Mo(1.0 nm)/Au(1.50 nm)の順に、p型電極107をリソグラフィー技術でパターン形成した後、微量の酸素を導入しながら、N₂雰囲気中でアニールを行った。このことにより、p型電極形成によるコンタクト抵抗の低抵抗化が得られた。

【0019】次に、上記窒化物半導体発光ダイオード素子を形成したエピウエハーのチップ分割について説明する。チップ分割までのプロセス手順を示す。まず、上記エピウエハーのGaN基板側を研削機により研削して、塩素ドーピングされたGaN基板の厚さを150 μmにする。次に、研磨したGaN基板側に、Ti(3.0 nm)/Al(2.00 nm)によるn型電極を、GaN基板面全体に蒸着し形成する。ここで、前記エピウエハーのエピ膜側（GaN基板面の逆の面）に、ダイヤモンド針でスクライプすることにより、墨書き線をいれる。墨書き方向は窒化物半導体に対して<1-100>である。墨書き部分は基板の周囲から1-2 mm程度の長さである。次に行うブレーキングによって素子を分割す

る。このブレーキングでは、先に入れたスクライプ線に一致するようにブレーキング刃をGaN基板面側（スクライプを入れた面と逆面）から当ててウエハーを押し割る。このようにすることで素子をバーの状態に分割することが可能である。次に、このバーを、<11-20>方向に、周囲から1-2 mm程度で、エピ膜側に墨書き線を入れる。更に先に入れたスクライプ線に一致するようにブレーキング刃をGaN基板側（スクライプを入れた面と逆面）から当ててブレーキングする事により、一つのチップ単位に分割する。

【0020】このようにして得られたLEDチップをステム上にInを用いてマウントし、APC駆動で50°C、5 mW、および30 mWで寿命試験を行ったところ図2に示すような結果となった。各素子の発光波長は400 nmであった。各点に対して各々20サンプル寿命試験を行い、10サンプルは30 mW、APC駆動の高出力寿命試験、残りの10サンプルは5 mW、APC駆動の低出力試験を行った。図2に示す記号は、○が30 mW、および5 mWのAPC駆動の寿命試験において9割以上のサンプルが10000時間以上寿命があったもの、△が5 mWのAPC駆動の寿命試験においてのみ9割以上のサンプルが10000時間以上寿命があったもの、×は30 mW、5 mWどちらの寿命試験においても上記の条件を満たさなかったロットを示している。今回図2に示した実験結果は、x1=x2の場合である。図2の示す通り、pクラッド層の膜厚は0.2 μm以上○、4 μm以下で、(x1 × n クラッド層厚) / (x2 × p クラッド層厚) が2.0より大きく1.0以下であることが必要であり、好ましくは(x1 × n クラッド層厚) / (x2 × p クラッド層厚) が2.5以上、9以下であることが分かった。

【0021】pクラッド層の層厚が0.2 μmより薄い場合、有効なキャリアの閉じ込めと光閉じ込めができなくなり、レーザ発振しなくなってしまう。また0.4 μm以上となると、歪みによる影響から、pクラッド層に転位が多数発生し、通電中に転位が増殖して活性層に到達しレーザの寿命を短くしてしまうことが分かった。

【0022】また、(x1 × n クラッド層厚) / (x2 × p クラッド層厚) が2.0以下である場合、二つのクラッド層に挟まれた活性層に非常に大きな圧縮歪みがかかることになる。活性層にかかる、過度の歪みのために、貫通転位が増殖し素子の寿命が短くなってしまう。また、(x1 × n クラッド層厚) / (x2 × p クラッド層厚) が1.0より大きい場合、nクラッドが自体にかかる歪みが大きくなり、クラックを生じてしまい、素子寿命を著しく低下させる。

（実施の形態2）成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、ただnクラッド層とpクラッド層のAl組成のみを変えて実験を行った。本実施の形態においては2.0 μm厚のn型A

$I_{x1}Ga_{1-x1}N$ 層で $x_1 = 0.15$ であり、また、 $0.3\mu m$ 厚みのp型A $I_{x2}Ga_{1-x2}N$ 層で $x_2 = 0.115$ 、であった。

【0023】実施の形態1と同様の条件で、 $30mW$ 、 $5mW$ のAPC駆動において寿命試験を行った。Alの組成を変化させた場合であっても、90%以上の素子が 10000 時間以上の寿命を持つ条件は、pクラッド層の膜厚は $0.2\mu m$ 以上 $0.4\mu m$ 以下で、 $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.0 より大きく 10 以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.5 以上必要であることが分かった。

(実施の形態3)成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、ただnクラッドとpクラッドのAl組成のみを変えて実験を行った。本実施の形態においては $0.7\mu m$ 厚のn型A $I_{x1}Ga_{1-x1}N$ 層で $x_1 = 0.09$ であり、また、 $0.25\mu m$ 厚みのp型A $I_{x2}Ga_{1-x2}N$ 層で $x_2 = 0.07$ であった。

【0024】実施の形態1と同様の条件で、 $30mW$ 、 $5mW$ のAPC駆動において寿命試験を行った。図4に実験結果を示す。Alの組成をnクラッド層とpクラッド層で変化させた場合であっても、90%以上の素子が 10000 時間以上の寿命を持つ条件は、pクラッド層の膜厚は $0.2\mu m$ 以上 $0.4\mu m$ 以下で、 $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.0 より大きく 10 以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.5 以上必要であることが分かった。

(実施の形態4)成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2nm$ のInGaN井戸層と厚さ $4nm$ のInGaN障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)103のInGaN井戸層のみにAsを添加する。このとき、素子の発光波長は $400nm$ であった。

【0025】実施の形態1と同様の条件で、 $30mW$ 、 $5mW$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層にAsを添加した場合であっても、90%以上の素子が 10000 時間以上の寿命を持つ条件は、pクラッド層の膜厚は $0.2\mu m$ 以上 $0.4\mu m$ 以下で、 $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.0 より大きく 10 以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.5 以上必要であることが分かった。

(実施の形態5)成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2nm$ のInGaN井戸層と厚さ $4nm$ のInGaN障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)103のInGaN井戸層とInGaN障壁層の両層にAsを添加する。このとき、発光波長は $400nm$ であ

った。

【0026】実施の形態1と同様の条件で、 $30mW$ 、 $5mW$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層と障壁層にAsを添加した場合であっても、90%以上の素子が 10000 時間以上の寿命を持つ条件は、pクラッド層の膜厚は $0.2\mu m$ 以上 $0.4\mu m$ 以下で、 $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.0 より大きく 10 以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.5 以上必要であることが分かった。

(実施の形態6)成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2nm$ のInGaN井戸層と厚さ $4nm$ のInGaN障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)103のInGaN井戸層のみにPを添加する。このとき、素子の発光波長は $400nm$ であった。

【0027】実施の形態1と同様の条件で、 $30mW$ 、 $5mW$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層にPを添加した場合であっても、90%以上の素子が 10000 時間以上の寿命を持つ条件は、pクラッド層の膜厚は $0.2\mu m$ 以上 $0.4\mu m$ 以下で、 $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.0 より大きく 10 以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.5 以上必要であることが分かった。

(実施の形態7)成長手順、成長する膜の組成、膜厚、温度等のプロセスは、実施の形態1と同様で、3周期の、厚さ $2nm$ のInGaN井戸層と厚さ $4nm$ のInGaN障壁層より構成される活性層(多重量子井戸層)103のInGaN井戸層とInGaN障壁層の両層にPを添加する。このとき、素子の発光波長は $400nm$ であった。

【0028】実施の形態1と同様の条件で、 $30mW$ 、 $5mW$ のAPC駆動において寿命試験を行った。活性層の井戸層と障壁層にPを添加した場合であっても、90%以上の素子が 10000 時間以上の寿命を持つ条件は、pクラッド層の膜厚は $0.2\mu m$ 以上 $0.4\mu m$ 以下で、 $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.0 より大きく 10 以下であることが必要であり、好ましくは $(x_1 \times n$ クラッド層厚) \diagup $(x_2 \times p$ クラッド層厚) $)$ が 2.5 以上必要であることが分かった。

【0029】上記に示した、実施の形態1~8において、素子の発光波長は $400nm$ であったが、 $370\sim440nm$ の範囲で、寿命試験を行っても、実施の形態1と同様の結果であった。また、上記実施の形態ではLDに関して記述したが、LEDの光出力強度に関しても実施の形態1と、同様の結果が得られた。

【0030】

【発明の効果】窒化物半導体からなる基板と、基板上に準じ形成された $\text{Al}_1-x\text{Ga}_x\text{N}$ ($0.05 < x < 0.3$) からなる第1クラッド層(膜厚 $d_1 \mu\text{m}$)と、活性層と、 $\text{Al}_1-x\text{Ga}_x\text{N}$ ($0.05 < x < 0.3$) からなる第2クラッド層(膜厚 $d_2 \mu\text{m}$)とを備えた発光素子であって、該第1クラッド層及び該第2クラッド層の膜厚が、 $2 < (x_1 \times d_1) / (x_2 \times d_2) \leq 10$ 時 25 分の範囲に設定し、素子にかかる歪み等を制御することにより、本発明の発光素子は、30mW、および5mWのAPC駆動の寿命試験において9割以上のサンプルが10000時間以上と長い寿命を保つことができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の発光素子の構造を示す断面図である。

【図2】寿命試験結果のグラフである。

【図3】素子構造の概略図である。

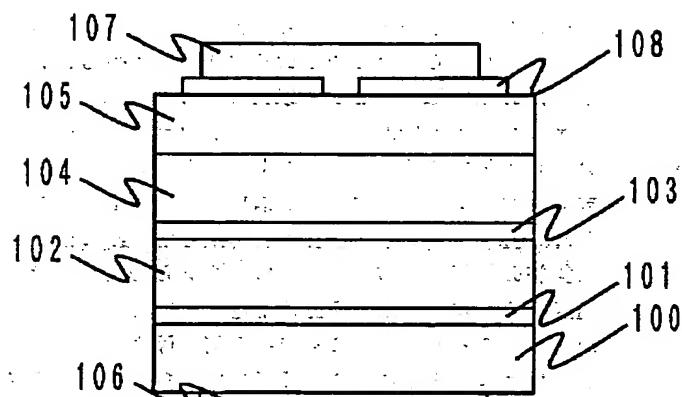
【図4】寿命試験結果のグラフである。

【図5】従来例の発光素子の構造を示す断面図である。

【符号の説明】

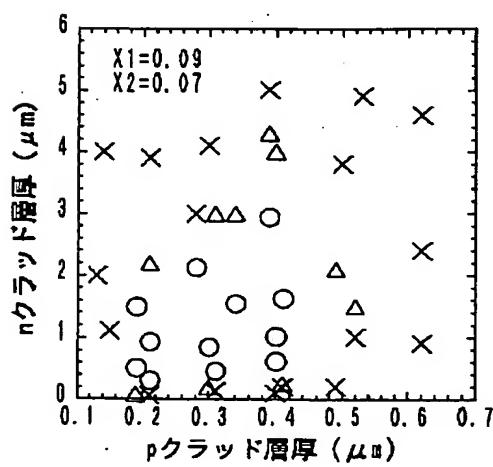
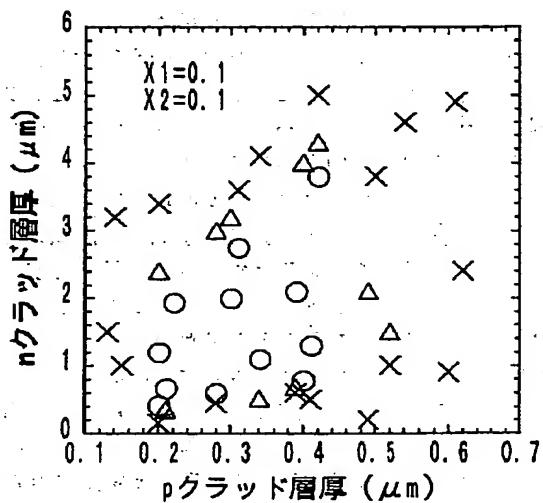
- 100 n型GaN基板
- 101 n型GaNバッファ層
- 102 n型 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ クラッド層
- 103 活性層
- 104 p型 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ クラッド層
- 105 p型GaNコンタクト層
- 106 n型電極
- 107 p型電極
- 108 SiO₂
- 401 n-GaNコンタクト層
- 402、404、406、n-Al_{0.1}Ga_{0.9}N
- 403、405、407、n-GaN
- 408 n-GaNガイド層

【図1】

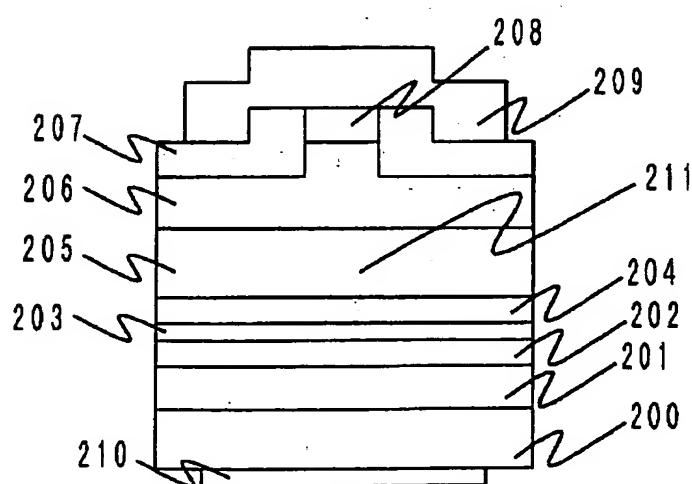


【図4】

【図2】



【図5】



【図3】

